

323349

21



P.- 30.999

Docket 18.257

21 FEB. 1966

323349

MEMORIA DESCRIPTIVA

para solicitar

P A T E N T E D E I N V E N C I O N

e n

E S P A Ñ A

por VEINTE años

a nombre de INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION,
entidad norteamericana, establecida en Armonk, N.Y., Es-
tados Unidos de América, por:

"UN METODO DE CONTROL DE UN PROCESO DE TRATAMIENTO DE
DATOS"

=====

La presente invención se refiere al control au-
tomático, y más especialmente a un método de control en
bucle cerrado.

5 Diversas señales de "ruido" o perturbación son
causa a menudo de considerables dificultades en los siste-
mas de control en bucle cerrado. Estos sistemas de control
en bucle cerrado pueden hacerse insensibles a los diversos
tipos de perturbación, por el procedimiento de reducir la
sensibilidad del sistema; ahora bien, al reducir la sensi-

323349

21 FEB 1966



bilidad del sistema se reduce también su velocidad de res
puesta, lo que en general no es deseable. La presente in-
vención proporciona un método de control, único en su cla
se, mediante el cual un sistema de control se hace en
5 cierto modo insensible a las perturbaciones o señales es-
purias, sin reducirse apreciablemente la sensibilidad del
sistema en condiciones críticas.

El método de la presente invención trae consigo
la limitación de la velocidad de cambio, o índice de varia
10 ción, de la señal de retroacción (realimentación) del
sistema de control. Si la señal de retroacción varía a
una velocidad superior al límite, se hace caso omiso de
esta variación. La magnitud del límite en un intervalo de
tiempo cualquiera en particular es función de la magnitud
15 de la señal de error del sistema durante el intervalo de
tiempo precedente.

El método de la presente invención es aplicable
a un sistema de control en bucle cerrado, que opere a ba-
se de una señal de error, e incluye las etapas de: medir
20 la condición de una variable, generando una señal bruta o
primaria de entrada; a base de dicha señal primaria, gene-
rar una señal de entrada "alisada", limitando el índice
de variación de dicha señal primaria de entrada, de modo
que el límite del índice o velocidad de variación de di-
25 cha señal en un intervalo de tiempo cualquiera sea fun-
ción de la magnitud de la señal de error en el intervalo
de tiempo precedente, excepto cuando la magnitud de la se-
ñal de error en un intervalo de tiempo cualquiera sea in-
ferior a una magnitud previamente especificada, caso en
30 el cual dicho límite, en el intervalo de tiempo siguiente,



es precisamente dicha magnitud previamente especificada; generar una señal de error que represente la diferencia entre dicha entrada alisada y un valor deseado para dicha variable; y generar una señal de control en respuesta a dicha señal de error.

Es objeto de la presente invención un método perfeccionado de control en bucle cerrado.

Otro objeto de la presente invención es un método perfeccionado de control en bucle cerrado, mediante el cual la salida del sistema es relativamente insensible a las perturbaciones o señales espurias.

Otro objeto del presente invento consiste en un método de control mediante el cual se puede hacer variar fácilmente la sensibilidad del sistema.

Otro objeto más del presente invento consiste en un método perfeccionado de control no lineal.

Otro objeto de la presente invención reside en un método de control no lineal, que puede completarse fácilmente con una calculadora numérica.

Otro objeto de la presente invención reside en un método de control en bucle cerrado, mediante el cual se toma rápidamente la acción de control en respuesta a los cambios del punto de ajuste, y lentamente en respuesta a las variaciones producidas por otros factores en la señal de retroacción.

Otro objeto de la presente invención reside en un método de control en bucle cerrado, que incluye la etapa de hacer pasar la señal de retroacción por un filtro cuya curva de respuesta se aproxima a una exponencial positiva.

323349

21 FEB 1958



Los precedentes y otros objetos, rasgos caracte-
rísticos y ventajas de la invención se irán desprendiendo
de la siguiente descripción pormenorizada de unas formas
preferidas de realización del invento, en relación con

5 los dibujos adjuntos, en los cuales:

- la figura 1 ilustra en esquema general un sis-
tema en el cual puede ponerse en práctica el método de
control conforme al presente invento;

10 - la figura 2A es una gráfica que indica el lí-
mite impuesto al índice de variación para diferentes mag-
nitudes de la señal de error;

- la figura 2B es una gráfica ilustrada de la
curva de respuesta del filtro en bucle abierto;

15 - la figura 2C es una gráfica que muestra la re-
lación entre las diversas señales en el tiempo;

- la figura 3 es un esquema funcional que mues-
tra de qué manera puede completarse el método de la pre-
sente invención con una calculadora numérica;

20 - la figura 4A es un esquema general de un sis-
tema analógico que hace uso del método de control confor-
me al presente invento; y

- la figura 4B es un esquema de una forma de
ejecución del integrador variable mostrado en forma de
bloque en la figura 4A.

25 El sistema indicado en la fig. 1 incluye una
instalación o sistema de tratamiento 10 que se va a con-
trolar, una calculadora numérica 12 y un regulador analó-
gico 14. La naturaleza precisa de la instalación 10 no ha
ce al caso para la presente invención. Lo único, referen-
30 te a esta instalación 10, que concierne al presente inven



323349

to, es que a dicha instalación va asociado un mecanismo de percepción y transmisión 16 y un mecanismo de control 18. El mecanismo de control 18 gobierna la instalación 10 en respuesta a las señales aplicadas por la línea 19. El estado o condición de la instalación 10 es percibido o de-
5 tectado por el dispositivo 16, generándose en la línea 17 una señal de acuerdo con dicho estado o condición. Por ejemplo, la instalación 10 puede ser un depósito, el mecanismo de control 18 puede ser una válvula que regule el
10 paso de entrada al depósito, y el mecanismo receptor 16 puede ser un dispositivo detector de nivel. La sencillez o complejidad de la instalación 10 no hace al caso, repetimos, para el presente invento.

La calculadora numérica 12 puede ser de un tipo
15 cualquiera comercialmente disponible para el control de tratamientos; por ejemplo, la del sistema 1710 de la IBM. Tales calculadoras llevan asociado un equipo de entrada analógica 20 y un equipo de salida analógica 22. La calculadora numérica 12, por consiguiente, puede recibir seña-
20 les analógicas por las entradas A y B, y generar una señal analógica por la salida C. El regulador analógico 14 incluye un puesto de fijación 24 del punto de trabajo o valor de referencia y unos circuitos de control 26. El puesto de fijación 24 del punto de trabajo recibe una se-
25 ñal de retroacción por la línea 32 y una señal de referencia por la línea 30, y genera por la línea 34 una señal correspondiente a la diferencia entre esas dos señales. Los circuitos de control 26 generan por la línea 19 una se-
30 ñal de control, con arreglo a la señal que haya en la línea 34. Estos circuitos de control 26 son de tipo usual,

323349

21



dando en la línea 19 una señal que guarda una relación proporcional, de derivada o de integral respecto a la señal de la línea 34. El regulador analógico 14, por ejemplo, puede ser un regulador electrónico de tipo Foxboro (TM).

5 En este caso, la señal de la línea 34 representa la señal del regulador que va al medidor de desviación.

La señal de la línea 34 es lo que en general se denomina señal de error en un regulador analógico, y la magnitud de esta señal representa la diferencia entre el
10 valor de referencia (esto es, el valor deseado) y la magnitud de la señal aplicada por la línea de entrada 32. Uno de los aspectos importantes del presente invento es el de que la calculadora numérica 12 percibe o detecta la magnitud de la señal de error en el regulador analógico, por
15 la línea 21 y la entrada B.

En general, la calculadora numérica 12 hace pasar a su salida C la señal que aparece en su entrada A. Ahora bien, como más adelante se explicará con mayor detalle, la calculadora 12 actúa a modo de filtro de paso bajo,
20 de manera que la señal en la línea 32 no es siempre igual a la señal de la línea 17. En ciertos casos, la calculadora 12 no hace variar la señal de la línea 32 con rapidez, aun cuando la señal de la línea 17 varíe rápidamente. La máxima velocidad de variación admisible que la calculadora
25 permite puede modificarse, y la magnitud del límite de dicha velocidad de variación depende de la magnitud de la señal de error en la línea 21. La fig. 2A ilustra el índice o velocidad de variación admisible en la señal de la línea 32, respecto a la magnitud de la señal de error. En
30 general, como se indica por medio de la parte de la gráfi



ca designada como sección D, la máxima velocidad de cambio admisible es igual a la magnitud de la señal de error. Ahora bien, como indica la sección C de la gráfica, el índice de variación admisible nunca es menor de un límite mínimo, que aquí se indica como de cuatro unidades. Este límite mínimo se designa con el símbolo MINL. Así, cuando la señal de error esté entre cero y cuatro unidades, el máximo índice de variación admisible de la señal en la línea 32 es de cuatro unidades, y cuando la señal de error sea mayor de cuatro unidades el máximo índice de variación admisible es igual a la magnitud de la señal de error. El valor del límite MINL para un sistema cualquiera concreto puede establecerse por tanteo, hasta obtener el tipo de respuesta deseado. Es posible utilizar para ello el mismo procedimiento que se emplea para sintonizar los ajustes de ganancia en los reguladores usuales.

La calculadora numérica 12 interroga a las entradas A y B diez veces por segundo. Cada vez que las entradas A y B son interrogadas, la calculadora ejecuta diversos cálculos, que más adelante se explicarán. Estos cálculos determinan un nuevo valor para la señal de la línea 32 y, una vez efectuados los cálculos, la máquina calculadora ajusta apropiadamente la señal analógica de la salida C, de manera que se adapte al valor deseado. Con un sistema IBM 1710, el tiempo necesario para interrogar a las entradas A y B, efectuar los cálculos necesarios y activar la salida C con arreglo a los resultados de estos cálculos, es del orden de magnitud de los quince milisegundos. Así, una sola calculadora IBM 1710, con gran número de puntos de entrada analógica y gran número de puntos

323349

21



de salida analógica, puede ser compartida en el tiempo por un número de bucles de control. Para mayor sencillez, la descripción que sigue se hará en relación con un sistema en el que todo el tiempo de la calculadora está dedicado a un solo bucle analógico, como se ilustra en la fig. 1.

El ciclo de tiempos en el funcionamiento de la calculadora 12 se ilustra en la fig. 2C. Durante la primera parte de cada ciclo, se interroga a las entradas A y B, se efectúan los cálculos y, con arreglo al resultado de éstos, se activa la salida C. Esto exige, como se ha dicho, alrededor de quince milisegundos (15 ms). Durante la parte restante del ciclo, la calculadora no efectúa más operaciones que estén directamente relacionadas con las entradas A y B. Un décimo de segundo más tarde, aproximadamente, se repite el ciclo. La escala de tiempos de la fig. 2C no pretende ser exacta, sino se da meramente a título ilustrativo. La primera línea muestra el instante en que se prueba o "muestra" la entrada A, la segunda línea indica en qué momento se prueba la entrada B, la tercera línea indica el instante en que se modifica la salida C, y la última línea señala el momento en que ocurre un cambio en la señal de error de la línea 34. En la descripción que antecede se supone que la entrada de referencia 30 no ha variado. Si el punto o valor de referencia se hace variar en cualquier instante, la magnitud de la señal de error varía inmediatamente. La escala de tiempos está subdividida en ciclos, de los cuales se ilustran tres en la fig. 2C. Durante cada ciclo, la calculadora prueba las entradas A y B y, si es necesario, hace variar la señal en la entrada C. Todo cambio en la señal de la salida C



se refleja, naturalmente, en la señal de error de la línea 34. Un punto importante es que durante cada ciclo la calculadora prueba o examina por la entrada B la magnitud de la señal de error que predomina durante el ciclo precedente. Esto viene indicado en la fig. 2C por las flechas que van de la cuarta línea a la segunda. Durante cada ciclo, la calculadora utiliza en sus cálculos la magnitud de la señal de error del ciclo precedente, y los resultados de estos cálculos se emplean para establecer la magnitud de la señal en la salida C (por tanto, la magnitud de la señal de error) que se mantiene durante el intervalo de tiempo sucesivo. Como más arriba se ha indicado, al variar la tensión o señal de referencia, o punto de ajuste, la magnitud de la señal de error varía inmediatamente, reflejando el nuevo punto de ajuste o referencia. Además, en el ciclo siguiente, la magnitud de la nueva señal de error establece la del límite del índice de variación de la señal de retroacción. Así, el sistema responde rapidísimamente a las variaciones en la tensión de referencia o punto de ajuste. Ahora bien, de variar por cualquier otra razón la magnitud de la señal de retroacción, el sistema responde con relativa lentitud. La duración de cada ciclo (esto es, la frecuencia de "muestreo" o exploración) se elige de tal modo que resulte relativamente lenta respecto a la frecuencia de las señales perturbadoras que se han de eliminar. Sin embargo, debe ser lo bastante breve para seguir las variaciones del proceso de tratamiento, y los cambios en el punto de ajuste o referencia.

En la descripción que sigue, se designan por medio de símbolos o indicaciones abreviadas diversas canti-

323349

21



dades. Estos símbolos o abreviaturas y las cantidades que representan son:

- 5
- AFS (Señal de retroacción efectiva) - La magnitud de la señal analógica en la línea 17, al probarse la entrada A.
- ERROR (Señal de error) - La magnitud de la señal analógica en la línea 21, al probarse la entrada B.
- 10 LIM (Límite) - Magnitud máxima en que la señal de la línea 32 puede variar durante un ciclo cualquiera en particular.
- MINL (Límite mínimo) - El valor mínimo admisible para la cantidad límite. El valor de la cantidad MINL se establece inicialmente al activar el sistema. Durante el funcionamiento del sistema no es más que un número que se utiliza repetidamente para representar el valor mínimo admisible de la cantidad LIM.
- 15 RDI (Entrada de diferencia primaria, o entrada "delta" primaria) - La diferencia entre la magnitud de la señal en la línea 17 y la magnitud de la señal en la línea 32 durante el ciclo precedente.
- 20 LSI (Última entrada alisada) - Es el valor de la señal en la línea 32 durante el ciclo precedente.
- 25 NSI (Nueva entrada alisada) - Es el valor de la señal en la línea 32 durante un determinado ciclo.

30 La función general desempeñada por el calculador 12 consiste en generar al comienzo de cada ciclo una señal, designada como "nueva entrada alisada" (NSI), que se aplica a la línea 32 durante todo un ciclo. Esta señal se genera conforme a las reglas siguientes:



I. Cuando la magnitud de la señal de error es menor que el límite mínimo,

(a) si el cambio o variación entre la señal de retroacción efectiva y la última entrada alisada es menor que el límite mínimo (MINL),

$$NSI = AFS ;$$

(b) Si la variación entre la señal de retroacción efectiva y la última entrada alisada es mayor que el límite mínimo,

$$NSI = LSI + \left[\begin{array}{c} \text{signo de} \\ AFS - LSI \end{array} \right] (MINL) .$$

II. Cuando la magnitud de la señal de error es mayor que el límite mínimo,

(a) si la variación entre la señal de retroacción efectiva y la última entrada alisada es menor que la magnitud de la señal de error,

$$NSI = AFS ;$$

(b) si la variación entre la señal de retroacción efectiva y la última entrada alisada es mayor que la magnitud de la señal de error,

$$NSI = LSI + \left[\begin{array}{c} \text{signo de} \\ AFS - LSI \end{array} \right] (ERROR)$$

En general, la acción de la calculadora numérica 12 es semejante a la acción de un filtro cuya curva de respuesta se aproxime a una exponencial positiva. Ello se ilustra en la fig. 2B. Para mayor sencillez, la fig. 2B ilustra la acción de la calculadora numérica 12 en un caso de bucle abierto (esto es, en la situación en que la línea 19 esté cortada), en el que se aplica una señal de entrada en escalón de 64 unidades. Se supone además que



la magnitud de la señal de error es inicialmente cero, y que la magnitud de la tensión de referencia o punto de ajuste se mantiene constante, Durante el primer ciclo, la calculadora incrementa la señal de la línea 32 en el límite mínimo (MINL) de 4 unidades. Durante el segundo ciclo, la señal de la línea 32 vuelve a incrementarse en el límite mínimo MINL, hasta llegar a 8 unidades. A este punto, la magnitud de la señal de error excede del límite mínimo MINL; por tanto, durante el ciclo siguiente la señal de la línea 32 se incrementa en una cantidad igual a la magnitud de la señal de error, que ahora es de 8 unidades. Así, durante el tercer ciclo, la señal de la línea 32 ha aumentado hasta llegar a 16 unidades. El proceso se repite hasta que la señal de la línea 32 se hace igual a la señal de la línea 17. Como se indica con línea de trazo interrumpido en la fig. 2B, la acción de la calculadora 12 se aproxima a la de un filtro cuya curva de respuesta se aproxima a una exponencial positiva.

La sucesión de operaciones que la calculadora 12 ejecuta durante cada ciclo está expuesta en forma de esquema funcional en la fig. 3. Cada recuadro de la fig. 3 representa una operación (o grupo de operaciones) efectuada por la calculadora 12. Las personas versadas en la materia pueden fácilmente, a base del esquema funcional de la fig. 3 y del plan de instrucciones de una calculadora numérica cualquiera particular, que tenga posibilidades de entrada analógica y salida analógica, dar las necesarias instrucciones de máquina detalladas para ejecutar la operación indicada. Más adelante, en esta Memoria, se darán las instrucciones específicas necesarias para hacer



funcionar la IBM 1710 a fin de ejecutar las funciones indicadas en la fig. 3.

Ahora bien, se explicará primero la función general indicada por medio de los recuadros 301 a 314 de la
5 fig. 3.

Los recuadros 301 y 302 indican la exploración o "muestreo" de señales en las entradas A y B. La señal procedente de la entrada A está designada AFS (señal de retroacción efectiva), y la señal de la entrada B se designa como señal de error. El recuadro 303 indica que la
10 máxima magnitud en que es posible hacer variar la señal de la línea 32 (límite) se fija inicialmente en un valor igual al valor absoluto de la señal procedente de la entrada B. Los recuadros 304 y 305 indican la verificación
15 que se hace de este límite, para asegurarse de que es mayor que el mínimo admisible (MINL). Si el límite no es mayor que el MINL, se fija a un valor igual al MINL.

El recuadro 306 indica el cálculo de la entrada de diferencia primaria (RDI). Como antes se ha indicado,
20 esta entrada RDI es la magnitud de la diferencia entre la señal que aparece en la entrada 17 cuando se "muestrea" la entrada A (AFS) y la magnitud de la señal de la línea 32 durante el ciclo precedente (ERROR).

Después de calculada la entrada de diferencia
25 primaria RDI como se indica en el recuadro 306, existen cuatro posibles sucesiones o secuencias de operaciones. Estas cuatro secuencias son las indicadas por las sucesiones de recuadros que figuran a continuación:

323349

21 FEB 1954



- 1) Recuadros 307, 308, 309, 310 y 311
- 2) Recuadros 307, 312, 310 y 311
- 3) Recuadros 307, 312, 313 y 311
- 4) Recuadros 307, 308, 309, 314 y 311

5 La primera secuencia posible de etapas (esto es, la de los recuadros, 307, 308, 309, 310 y 311) tiene lugar cuando la entrada de diferencia primaria RDI es negativa, y su magnitud absoluta menor que el límite. En este caso, la nueva entrada alisada (NSI) se hace simplemente igual

10 a la señal de retroacción efectiva AFS. El efecto logrado es que la calculadora no hace más que transmitir directamente a la salida C la señal recibida por la entrada A. El recuadro 307 representa un ensayo que se efectúa para determinar si RDI es o no negativa; el recuadro 308 indica

15 la operación mediante la cual se quita a RDI el signo negativo; el recuadro 309 indica una prueba que se efectúa para determinar si la RDI es mayor que la magnitud del límite; el recuadro 310 indica que el valor de la nueva entrada alisada NSI se hace igual al de la señal de retroac

20 ción efectiva AFS; y el recuadro 311 indica que se activa la salida C de acuerdo con el valor de NSI.

La segunda secuencia posible de operaciones (esto es, la indicada con los recuadros 307, 312, 310 y 311) ocurre si RDI es positiva y su magnitud menor que la del

25 límite. En este caso, la nueva entrada alisada NSI se vuelve a hacer simplemente igual a la señal de retroacción efectiva AFS, con lo cual la calculadora tiene por efecto el de hacer pasar directamente la señal desde la entrada A a la salida C. El único recuadro adicional de esta serie, respecto al anterior, es el 312, que indica una prue

30



ba para determinar si RDI es menor que el límite.

La tercera secuencia posible de operaciones (esto es, la indicada con los recuadros 307, 312, 313 y 311) tiene lugar cuando la RDI es positiva y su magnitud mayor que la del límite. En este caso, la nueva entrada alisada
5 NSI se hace igual a LSI + LIM. El efecto es que la señal generada por la salida C es igual a la suma de la última señal de salida LSI incrementada en el máximo valor admisible, designado LIM.

10 La cuarta secuencia posible de operaciones (representada por los recuadros 307, 308, 309, 314 y 311) tiene lugar cuando la entrada de diferencia primaria RDI es negativa, y su magnitud mayor que la del límite. En este caso, la nueva entrada alisada NSI se disminuye en la
15 magnitud del límite. El efecto es que la señal de la salida C es disminuída en una magnitud igual a la del límite. El único recuadro adicional de esta serie es el 314, que indica el cálculo de la nueva entrada alisada NSI por medio de una operación de restar.

20 A continuación se relacionan las operaciones indicadas por medio de cada uno de los recuadros 301 a 314.
Recuadro 301: La señal analógica que aparece en la entrada A se hace pasar a la calculadora, generándose un número dígito representativo de la magnitud de la señal analógica. El número que indica la magnitud de la señal en la
25 entrada A es el designado AFS.

Recuadro 302: La señal analógica que aparece en la entrada B se hace pasar a la calculadora, generándose un número dígito representativo de la magnitud de esta señal analógica. El número que indica la magnitud de la señal analógica.
30

323349

21



gica que aparece en la entrada B es el designado ERROR.

Recuadro 303: Se calcula un límite provisional, igual al valor absoluto de la señal de ERROR. Este límite provisional se designa LIM.

5 Recuadro 304: Se establece una comparación para determinar si el LIM es menor que el límite mínimo admisible (MINL). Si LIM es menor que MINL, el sistema pasa a continuación a la etapa indicada por el recuadro 305; y si LIM es mayor que MINL, el sistema pasa a la etapa indicada por el recuadro 306.

10

Recuadro 305: El valor del LIM es sustituido por el valor del MINL. Nótese que esta etapa se ejecuta únicamente cuando en la indicada con el recuadro 304 resulta que el LIM, establecido por el recuadro 303, es menor que el

15

Recuadro 306: Se calcula la diferencia entre la señal tomada de la entrada A y la última aplicada a la salida C. A esto se llama la "entrada de diferencia primaria", designada RDI. La entrada de diferencia primaria se calcula estando la última señal aplicada a la salida C (designada LSI) de la señal tomada de la entrada A (designada AFS).

20

Recuadro 307: Se hace una prueba para determinar si la entrada de diferencia primaria RDI es negativa. Si lo es, el sistema pasa a continuación al recuadro 308; y si es positiva, el sistema va entonces al recuadro 312.

25

Recuadro 308: Se hace positivo, eliminando su signo, el número que representa la entrada de diferencia primaria RDI. Nótese que esta etapa se ejecuta únicamente cuando en la indicada por el recuadro 307 se halla que RDI es negativa.

30



5 Recuadro 309: Se efectúa una comparación entre la magnitud de la entrada de diferencia primaria RDI y la del límite. RDI es menor que LIM, el sistema pasa a la etapa indicada por el recuadro 310; y si es mayor, el sistema sigue a la etapa indicada por el recuadro 314.

Recuadro 310: Se calcula la nueva señal a aplicar a la salida C (designada NSI), haciendo simplemente $NSI = AFS$.

10 Recuadro 311: En la salida C se genera una señal analógica de salida, igual a la nueva entrada alisada NSI. Es de notar que la señal que aparece en la línea 32 es una señal analógica, que permanece constante durante cada ciclo de la calculadora, hasta que se hace variar. Después de modificada, sigue constante con el nuevo valor, hasta que se vuelve a modificar. El sistema IBM 1710 puede funcionar
15 de esta manera, cuando va equipado con el dispositivo de "corriente de salida analógica" RPQ CO-5732.

Recuadro 312: Se compara la entrada de diferencia primaria RDI con el límite, para determinar si es o no menor que éste. Si la entrada de diferencia primaria es menor
20 que el límite, el sistema ejecuta a continuación la etapa indicada por el recuadro 310, y si no es menor, el sistema pasa entonces a ejecutar la etapa indicada por el recuadro 313.

25 Recuadro 313: Se calcula la nueva entrada alisada NSI, su mando el LIM a la última entrada alisada LSI.

Recuadro 314: Se calcula la nueva entrada alisada NSI, restando el LIM de la última entrada alisada LSI.

30 A continuación se da el programa detallado que se utilizaría en la práctica del presente invento con una calculadora IBM 1710 que incluyera el convertidor de da-



323349

tos 1711, el "multiplicador" ("Multiplexer") 1712 y el equi
po de salida analógica RPQ CO-5732. El programa dado a
continuación está en el lenguaje normal de conjunto común
mente denominado SPS. Los programas de conjunto, fácilmen
5 te obtenibles, convierten este lenguaje en instrucciones
efectivas para la máquina. La sub-rutina dada más adelan
te se activa cada 1/10 de segundo por medio del marcador
o regulador de tiempos de intervalo, de manera usual.
Mientras el sistema está ejecutando esta rutina, la aten
10 ción de otras intervenciones o interrupciones se pospone
u oculta hasta que la sub-rutina haya sido ejecutada por
completo. Las instrucciones dadas más adelante son norma
les para la IBM 1710, con lo excepción de la única que
tiene un código de operación designado "88". Esta instruc
15 ción es la provista de la salida analógica RPQ CO-5732,
arriba citada. El programa de supervisión necesario y los
métodos generales de programación del sistema 1710 se ex
plican con detalle en diversos manuales de programación,
tales como los relacionados en la publicación de referen
20 cias bibliográficas de los sistemas IBM titulada "Biblio
grafía del sistema 1710", formulario A26-5695-0. Para in
dicar concretamente qué instrucciones corresponden a cada
uno de los recuadros de la fig. 3, al citar cada instruc
ción se menciona el particular recuadro de la fig. 3 con
25 el cual va asociada la instrucción particular.



SUB-RUTINA DE INTERRUPCION DE FILTROS, INICIADA POR EL
MARCADOR QUE INTERRUMPE A CADA 1/10 DE SEGUNDO

	FILTRO 1	SA	,1,,	Recuadro 1
		SLAR	AFS ,2,,	Recuadro 1
5		SLAR	ERROR ,0,,	Recuadro 2
		TF	LIM ,ERROR,,	Recuadro 3
		CF	LIM ,,,	Recuadro 3
		C	LIM ,MINL,,	Recuadro 4
		BNL	FILTRO 2 ,,,	Recuadro 4
10		TF	LIM ,MINL,,	Recuadro 5
	FILTRO 2	TF	RDI ,AFS,,	Recuadro 6
		S	RDI ,LSI,,	Recuadro 6
	FILTRO 3	BNF	FILTRO 2 ,RDI,,	Recuadro 7
		CF	RDI ,,,	Recuadro 8
15		C	RDI ,LIM,,	Recuadro 9
		BNL	FILTRO 7 ,,,	Recuadro 9
	FILTRO 4	TF	NSI ,AFS,,	Recuadro 10
	FILTRO 5	TF	DAC + 4 ,NSI-1,,	Recuadro 11
		CF	DAC + 2 ,,,	Recuadro 11
20		88	DAC ,70001,1,	Recuadro 11
		BO	,,,	Recuadro 11
	FILTRO 6	C	RDI ,LIM,,	Recuadro 12
		BNH	FILTRO 4 ,,,	Recuadro 12
		TF	NSI ,LSI,,	Recuadro 13
25		A	NSI ,LIM,,	Recuadro 13
		B	FILTRO 5 ,,,	Recuadro 13
	FILTRO 7	TF	NSI ,LSI,,	Recuadro 14
		S	NSI ,LIM,,	Recuadro 14
		B	FILTRO 5 ,,,	Recuadro 14

323349

21 FEB



	AFS	DS	4	,,,
	ERROR	DS	4	,,,
	LIM	DS	4	,,,
	MINL	DC	4	,0006,,
5	RDI	DS	4	,,,
	LSI	DC	4	,0000,,
	NSI	DS	4	,0000,,
	DAC	DSC	5	,0,,

10 El programa arriba indicado supone que la entrada aquí designada con la letra A está conectada de manera que la calculadora la identifica como dirección 1; que la entrada aquí designada con la letra B está conectada de manera que la calculadora la identifica como dirección 2;
15 y que la salida aquí designada como C está conectada de manera que la calculadora la identifica como dirección 70001. Este programa se inscribe para su ejecución cuando la calculadora está trabajando en el modo de "no interrumpible". La tercera instrucción dará lugar a una señal de
20 interrupción al cabo de cierto tiempo; no obstante, esa señal no tiene significación alguna en relación con el programa que se está considerando.

En la parte precedente de esta Memoria se ha descrito un ejemplo concreto y simplificado de cómo puede
25 ponerse en práctica el método de la presente invención. Concretamente, la descripción que antecede, se refería a un sistema en el que se utilizó una calculadora numérica como elemento de filtro, y las funciones de control propiamente dichas fueron efectuadas por un regulador analógico.
30 Se supuso que la calculadora estaba dedicada por entero a



ejecutar esta determinada sub-rutina; por tanto no hubo necesidad de describir ninguna rutina de supervisión complicada. Los programas ejecutivos normales, obtenibles con la máquina, podían utilizarse para iniciar la sub-rutina especificada, a los intervalos deseados de 1/10 de segundo. Ahora bien, en esta aplicación se desperdiciaría parte de la capacidad de la calculadora. En lo que sigue se explica brevemente de qué modo podría utilizarse esta capacidad adicional.

En una de las instalaciones en que se ha aplicado el presente invento, se eliminó el regulador analógico, y la señal analógica procedente de la calculadora fue directamente suministrada al activador, por ejemplo el designado con el número 18 en la fig. 1. Este tipo de instalación se denomina generalmente de control numérico directo. La sucesión de etapas ejecutadas por la calculadora incluía la totalidad de las reseñadas en la fig. 3. Ahora bien, en lugar de proseguir desde el punto designado "filtro 5" a la etapa indicada por el recuadro 311, el sistema efectuó otra serie de etapas. Durante estas etapas adicionales, la calculadora efectuó el cálculo de la señal de error, restando la nueva entrada alisada NSI de un número que representaba el punto de referencia o valor de ajuste deseado. A continuación, la máquina calculó la magnitud de la salida analógica deseada, con arreglo a una ecuación trimodal tal como la siguiente:

$$\text{Salida analógica} = K_1 E + K_2 \Delta I + \sum K_3 E ,$$

en la cual

E es la magnitud de la señal error;

$\Delta I = \text{LSI} - \text{NSI}$ (obsérvese que LSI es el valor

323349

21



calculado en el ciclo precedente, y
NSI el valor calculado durante el ciclo
que se está considerando); y

5 K_1 , K_2 y K_3 son unas constantes que representan
las ganancias asociadas al control pro
porcional, por derivada y por integral,
respectivamente. La magnitud de las
constantes K_2 y K_3 es función de la ve
locidad de "muestreo", ya que implícita
10 mente contienen una medida del tiempo
entre ensayos o tomas de "muestreo".

Existe una importante diferencia entre la ecua-
ción trimodal dada más arriba y la ecuación trimodal que
describe el regulador analógico típico. En la ecuación da
15 da más arriba, la parte derivativa de la señal de control
opera sobre la diferencia entre la última entrada alisada
LSI y la nueva entrada alisada NSI. Así, la parte deriva-
tiva del regulador no tiene en cuenta los cambios del pun
to de ajuste o referencia, que se reflejarían como varia-
20 ciones de magnitud de la señal de error. Esto presenta
una clara ventaja al dar una superior característica de
salida.

El método de la presente invención puede tam-
bién ponerse en práctica enteramente con equipo analógico.
25 Un sistema analógico que es posible utilizar para llevar
a la práctica el método del presente invento es el que se
ilustra en la fig. 4A. El sistema representado en la fig.
4A incluye una instalación de tratamiento 410 que posee
un elemento controlable 418 y un transductor 416 que indi
30 ca el estado del proceso de tratamiento. El sistema de



control incluye un regulador analógico trimodal 426 de tipo usual, que lleva asociado un dispositivo sumador 424. El bucle de control analógico principal incluye asimismo un integrador variable 412. Así, el bucle de control analógico principal comprende el integrador variable 412, el
5 circuito sumador 424 y el regulador 426.

El circuito 424 compara una tensión de referencia 430 con la salida del integrador variable 412, y genera en la línea 434 una señal indicativa de la diferencia
10 que haya. La señal en la línea 434 es la denominada señal de error. El regulador 426 acepta la señal de error y genera en respuesta a la misma una señal de control por la línea 419. El circuito 412 limita la rapidez con la cual puede aumentar la señal de la línea 413, independientemente de la rapidez de crecimiento de la señal que hay en la
15 línea 417. La máxima rapidez con la cual puede variar la tensión de la línea 413 viene determinada por la magnitud de la señal existente en la línea 455. La magnitud de esta señal de la línea 455 viene a su vez gobernada bien por la magnitud de la señal de error de la línea 434, o bien
20 por la magnitud de la señal generada por el circuito de referencia 454. El circuito 453 transmite a la línea 455 ya sea la señal procedente del circuito 454 o ya la de la línea 434, según cuál sea mayor. La señal de error procedente de la línea 434 es transmitida al circuito 453 por
25 medio de los circuitos 451 y 452.

El circuito 451 toma el valor absoluto de la señal de error, de manera que la señal que aparece en la línea 455 es siempre positiva. El circuito 452 introduce
30 un retardo en la transmisión de las señales desde la lí-

323349

21 FEB



nea 434 a la línea 455. La razón para ello puede compren-
derse con referencia a la fig. 2C, donde se muestra que
la magnitud del límite viene establecida por la magnitud
de la señal de error durante un período o intervalo de
5 tiempo precedente. La variación en la magnitud del límite
en el circuito de la fig. 4A no es periódica, como lo era
en la primera forma de realización; ahora bien, en la rea-
lización de la fig. 4A, en un instante cualquiera en par-
ticular la magnitud del límite viene determinada por la
10 magnitud que tenía la señal de error durante el intervalo
de tiempo precedente, debido al retardo introducido por
el circuito 452. La duración del retardo introducido por
el circuito 452 es del mismo orden que la rapidez de
"muestreo" en la primera forma de realización; y en un ca-
15 so tipo podría ser del orden de 1/10 de segundo.

El circuito que genera el límite mínimo MINL in-
cluye el potenciómetro 457 y la fuente de tensión 456. El
valor del límite mínimo puede modificarse haciendo variar
la posición del potenciómetro 457. El circuito 453 inclu-
20 ye simplemente dos diodos 458 y 459, uno de los cuales es
tá polarizado a la inversa. De la magnitud de la tensión
en ambas entradas depende cuál de los diodos se polariza
inversamente. Como es natural, en una forma de realiza-
ción mas elaborada, el circuito 453 podría incluir un com-
25 parador que determinara cuál era la entrada mayor, y un
número de elementos de franqueo de paso gobernados por el
circuito comparador, que conectarían la entrada apropiada
a la línea 455. El circuito 412 podría consistir simple-
mente en un integrador RC con una resistencia variable,
30 cuyo valor ómico vendría controlado por la señal de la

323349

línea 455. Ahora bien, tal circuito tendría en cierto modo un carácter no lineal. Un circuito más próximo al lineal podría lograrse utilizando una disposición de transistores a la manera de un integrador de Miller. Un circuito de transistores controlado por la tensión de la línea 455 podría actuar como resistencia variable en el integrador de Miller, el que a su vez actuaría como límite de la rapidez de variación.

En general, el circuito ilustrado en la fig. 4A actúa del modo siguiente: Cuando en la línea 417 se introduce una señal de perturbación procedente de la instalación de tratamiento 410, el circuito 412 en principio prohíbe que este aumento de tensión pase a la línea 413 y, de ese modo, evita que la señal de perturbación produzca un cambio de la señal de control en la línea 419. Si la señal en la línea 417 persiste, pasará lentamente por el circuito 412. Asimismo, una señal que pase lentamente por el circuito 412 hará que aumente lentamente la magnitud de la señal de error. Por tanto, de persistir la señal, se incrementará el límite introducido por el circuito 412. Como en la primera de las formas de realización del invento, los cambios del punto de ajuste o de referencia aumentan inmediatamente la magnitud de la señal de error en la línea 434, iniciando así inmediatamente la acción de control. Es más, la señal de error, después de pasar por el circuito de retardo 452, aumenta el límite impuesto por el circuito 412. Por tanto, en el circuito ilustrado en la fig. 4A, lo mismo que en la primera forma de realización, el regulador responde rápidamente a las variaciones en el punto de ajuste, pero lentamente a otras señales in

323349

21



5 introducidas en el bucle, o el camino de la retroacción.

En la fig. 4B se da un esquema de una forma de realización del integrador variable 412. Incluye un manantial de luz 490, una fotorresistencia 491 y un condensador 492. La magnitud de la resistencia óhmica de la fotorresistencia 491 es función de la luz producida por el manantial 490. Tales fotorresistencias se pueden obtener en el comercio. El manantial de luz 490 está controlado por la señal que hay en la línea 455. Así, la resistencia del elemento 491 está indirectamente controlada por la señal de la línea 455. Cuando la señal de la línea 455 es grande, se reduce la constante de tiempo RC del circuito, y si dicha señal es pequeña la constante de tiempo RC del circuito aumenta. Así, seleccionando adecuadamente al manantial de luz 490 y la resistencia 491, el circuito 412 tendrá una curva de respuesta semejante a la indicada por la línea de trazo interrumpido en la fig. 2B.

Es de notar que, en lo que aquí se describe, la magnitud del límite se hace igual al valor de la señal de error. Esto ha de tomarse como meramente ilustrativo, pudiendo utilizarse otras relaciones funcionales entre la magnitud de la señal de error y la magnitud del límite.

Si bien la invención se ha ilustrado y descrito de modo particular con referencia a unas formas preferidas de realización de la misma, las personas versadas en la materia comprenderán fácilmente que pueden hacerse en éstas los precedentes y otros cambios de forma y de detalle sin por ello salirse del ámbito ni apartarse del espíritu de la invención.

La presente solicitud que corresponde a la pre-



sentada en los Estados Unidos de América, el 23 de Febrero de 1.965, bajo el número 434.347, se acoge a los beneficios del artículo 51 del vigente Estatuto sobre Propiedad Industrial.

N O T A

5 Los puntos de invención propia y nueva que se presentan para que sean objeto de esta solicitud de Patente de Invención en España, por VEINTE años, son los siguientes:

10 1.- Un método de control de un proceso de tratamiento, proceso que lleva asociado un elemento controlable y medios para generar una primera señal indicativa del estado de dicho proceso, designándose con la denominación de punto de ajuste o referencia el valor deseado de dicha primera señal y comprendiendo dicho método de control las etapas de: generar periódicamente una segunda señal mediante limitación de la rapidez de cambio de dicha primera señal; comparar dicha segunda señal con dicho punto de ajuste o referencia y generar una señal de error indicativa de toda diferencia entre ambos; generar una señal de control en respuesta a dicha señal de error; siendo el límite impuesto a la rapidez de cambio de dicha segunda señal, en cualquier período o intervalo de tiempo, función de la magnitud de dicha señal de error durante el intervalo de tiempo precedente.

323349

21



5 2.- El método de control del punto 1, en el cual dicho límite se hace igual a un límite mínimo previamente especificado, cuando la magnitud de dicha señal de error está por bajo de dicho valor mínimo previamente especificado.

10 3.- El método de control de un proceso de tratamiento, proceso que lleva asociado un elemento controlable y medios para generar una señal de retroacción o realimentación indicativa del estado de dicho proceso, denominándose punto de ajuste o referencia el valor deseado de dicha señal de retroacción, y comprendiendo dicho método las etapas de: limitar la rapidez de cambio de dicha señal de retroacción; comparar dicha señal de retroacción limitada con el valor de dicho punto de ajuste o referencia, y generar una indicación de error que acuse cualquier
15 diferencia que exista entre dicho valor de referencia y dicha señal de retroacción limitada; generar una señal de control en respuesta a dicha indicación de error; siendo el límite impuesto a dicha rapidez de cambio en todo momento función de la magnitud de dicha señal de error durante un ciclo precedente, excepto cuando la magnitud de dicha señal de error, durante un ciclo cualquiera, esté por bajo de un límite mínimo previamente especificado, caso en que el límite impuesto a dicha rapidez de cambio durante el ciclo siguiente es precisamente dicho valor mínimo
20 previamente especificado.
25

30 4.- Un método de controlar un proceso de tratamiento que posee un elemento controlable y medios para generar una primera señal indicativa del estado de dicho proceso, designándose con la denominación de punto de ajuste



o referencia el valor deseado de dicha primera señal y comprendiendo el procedimiento de control periódico las siguientes etapas en cada ciclo: interrogar cíclicamente a dicha primera señal, y generar una señal relacionada; 5
comparar dicha señal relacionada y dicho valor del punto de ajuste o referencia, generando una señal de error; generar una señal de control en respuesta a dicha señal de error; generándose dicha señal relacionada, en respuesta a dicha primera señal, conforme a las siguientes reglas, 10
en las cuales se designa: (a) MINL, la mínima rapidez de cambio admisible de dicha señal relacionada; AFS, el valor de dicha primera señal al ser ensayada o "muestreada" durante un ciclo particular; (c) NSI, el valor de dicha señal relacionada durante un ciclo particular cualquiera; 15
y (d) LSI, el valor de dicha señal relacionada durante el ciclo precedente; siendo dichas reglas las siguientes:
(1) cuando la magnitud de la señal de error es menor que el límite mínimo, y el cambio entre AFS y LSI es menor que el límite mínimo (MINL), $NSI = AFS$; (2) cuando la magnitud de la señal de error es menor que el límite mínimo 20
MINL y el cambio entre AFS y LSI es mayor que el límite mínimo, $NSI = LSI + \left[\begin{array}{c} \text{signo de} \\ \text{AFS} - \text{LSI} \end{array} \right] (\text{MINL})$; (3) cuando la magnitud de la señal de error es mayor que el límite mínimo, y el cambio entre AFS y LSI es menor que la magnitud 25
de la señal de error, $NSI = AFS$; y (4) cuando la magnitud de la señal de error es mayor que el límite mínimo, y el cambio entre AFS y LSI es mayor que la magnitud de la señal de error, $NSI = LSI + \left[\begin{array}{c} \text{signo de} \\ \text{AFS} - \text{LSI} \end{array} \right] (\text{ERROR})$.

5.- El método de control por retroacción que incluye las etapas de: generar una señal de retroacción; ge 30

323349

21 FEB



nerar una señal de retroacción modificada, por limitación de la velocidad o rapidez de cambio de dicha señal de retroacción; comparar dicha señal de retroacción limitada con un valor de punto de ajuste o referencia deseado, y generar una señal de error indicativa de la distancia que los separa; generar una señal de control en respuesta a dicha señal de retroacción; modificar la magnitud de dicho límite en respuesta a la magnitud de dicha señal de error; con lo cual se toma acción de control rápidamente en respuesta a las variaciones en dicho punto de ajuste o referencia, y lentamente en respuesta a las señales de entrada provenientes de dicho proceso de tratamiento.

6.- El método del punto 5, en el cual el límite impuesto por dicho limitador de velocidad tiene un valor mínimo, de modo que dicho límite es igual a la magnitud de dicha señal de error mientras la magnitud de dicha señal de error sea mayor de un valor previamente especificado, y de modo que la magnitud de dicho límite es igual a dicho valor previamente especificado siempre que la magnitud de dicha señal de error esté por bajo de dicho valor previamente especificado.

7.- Un método de controlar un procedimiento que lleva asociado un elemento controlable y unos medios para generar una primera señal indicativa del estado de dicho proceso, designándose con la denominación de punto de ajuste o referencia el valor deseado de dicha primera señal y comprendiendo dicho método de control las etapas de: generar periódicamente una segunda señal mediante limitación de la rapidez de cambio de dicha primera señal; comparar dicha segunda señal con dicho punto de ajuste o



referencia, generando una señal de error indicativa de toda diferencia entre ambos; generar una señal de control en respuesta a dicha señal de error; siendo el límite impuesto a la rapidez de cambio de dicha segunda señal, en cualquier período o intervalo de tiempo, función de la magnitud de dicha señal de error durante el intervalo de tiempo precedente, con lo cual el cambio en dicho límite a base de bucle abierto se aproxima a una función exponencial positiva.

8.- El método de control del punto 7, en el cual dicho límite se hace igual a un límite mínimo previamente especificado, cuando la magnitud de dicha señal de error está por bajo de dicho valor mínimo previamente especificado, de modo que la variación en dicho límite, a base de bucle abierto, se aproxima a una función exponencial positiva solamente cuando la magnitud de la señal de error está por encima de un determinado valor mínimo.

9.- Un método de control de un proceso de tratamiento de datos.

Tal y como se ha descrito en la Memoria que antecede, representado en los tres dibujos que se acompañan y para los fines que se han especificado.

Esta Memoria consta de treinta y una hojas escritas a máquina por una sola cara.

Madrid,

21 FEB 1966

P. A.

Alberto de Elizaburu
Por Poder,

323349

211

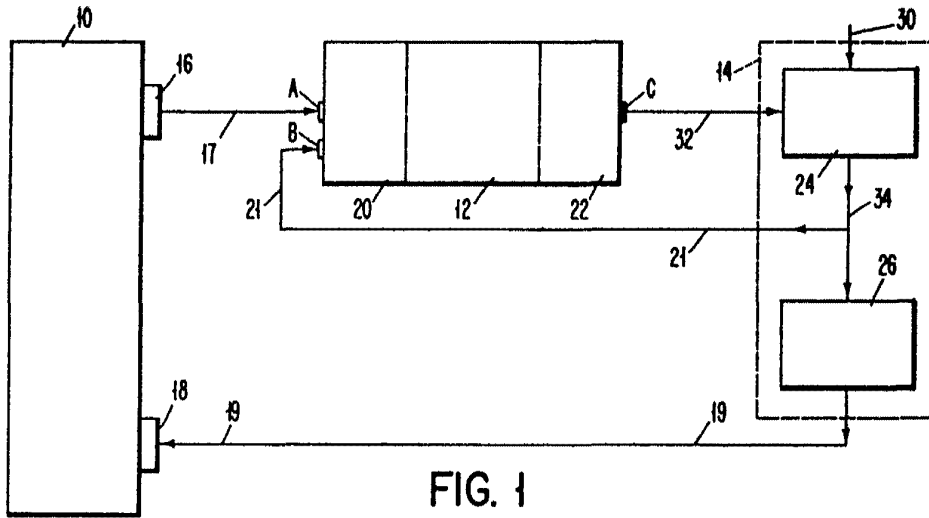


FIG. 1

FIG. 2A

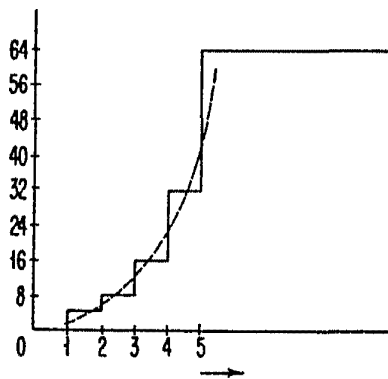
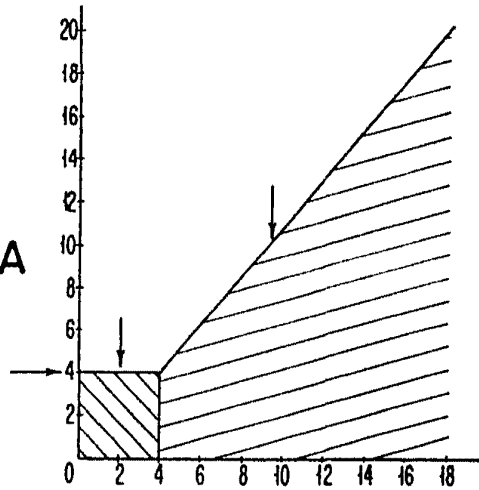


FIG. 2B

Alfonso de...
París, France

323349

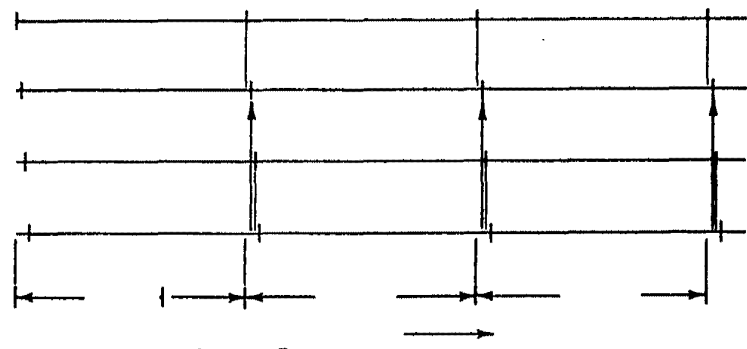


FIG. 2C

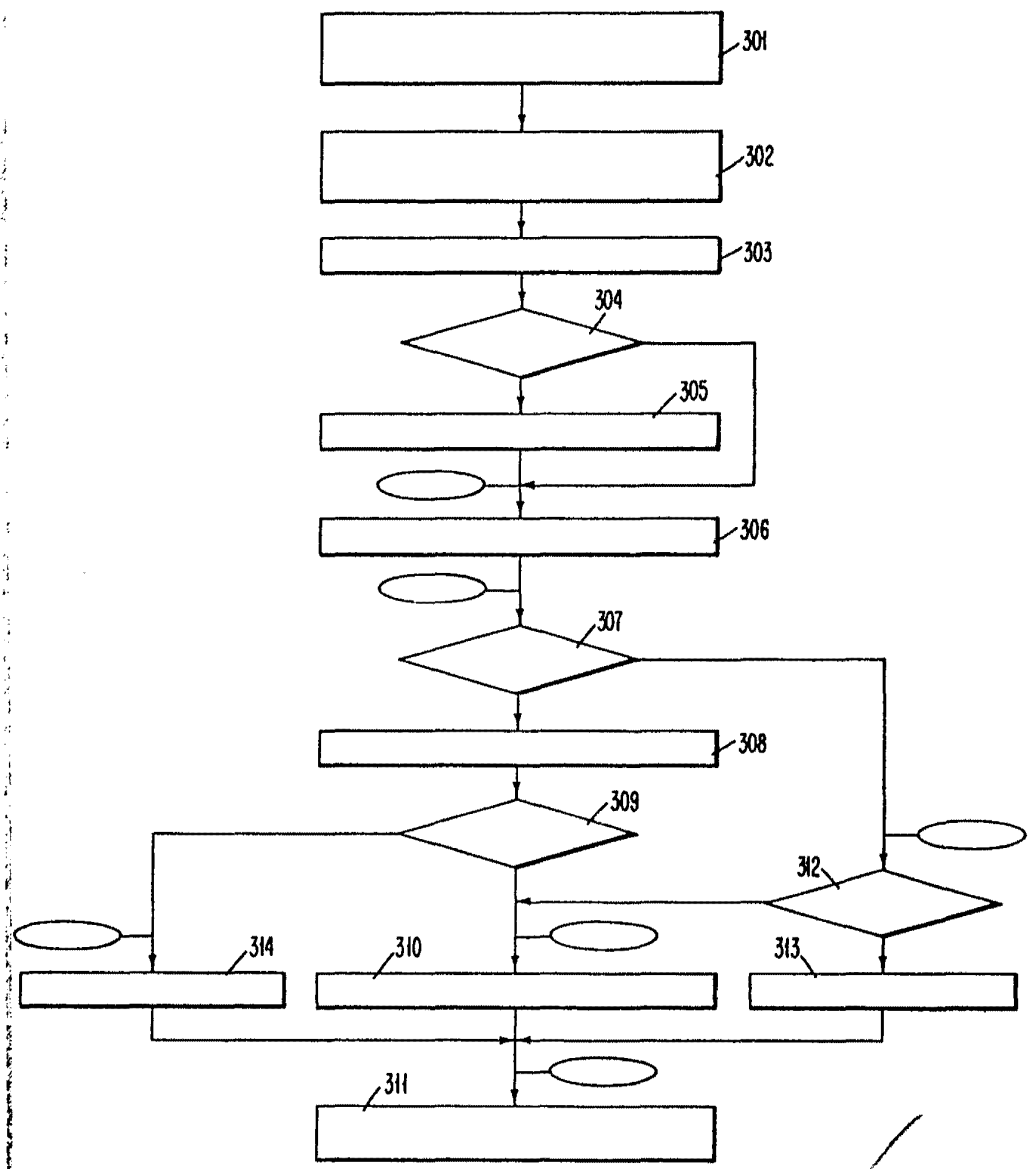


FIG. 3

Handwritten signature or initials.

323349

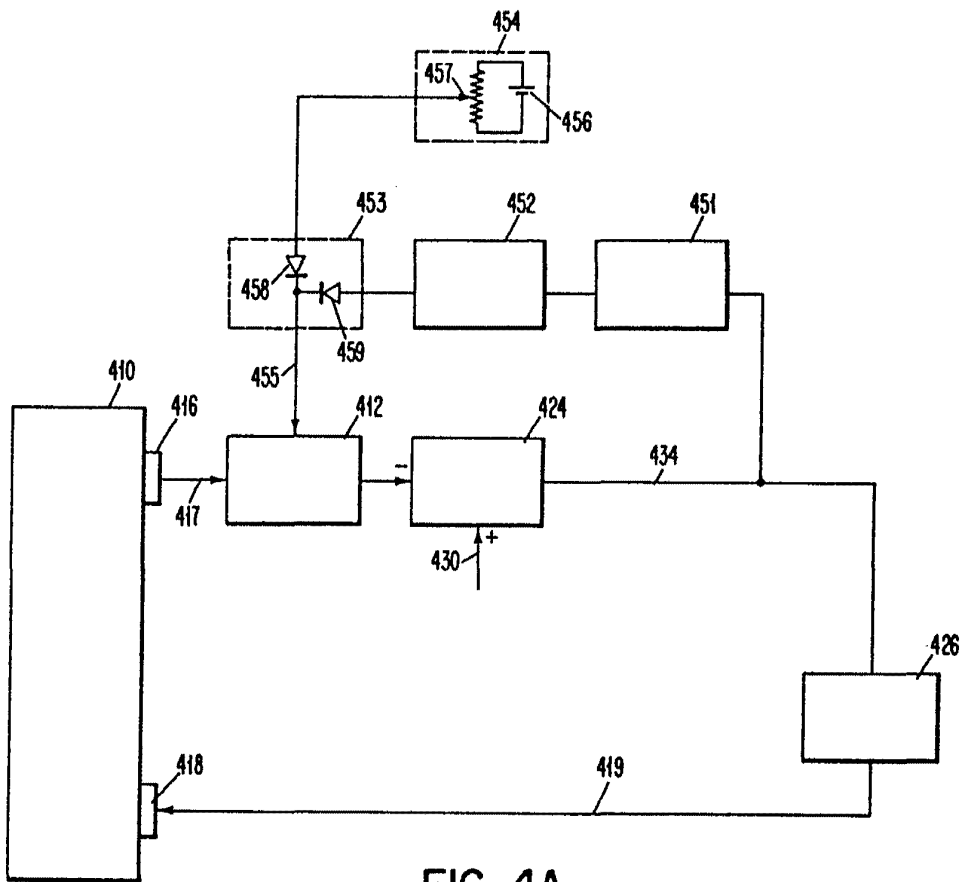


FIG. 4A

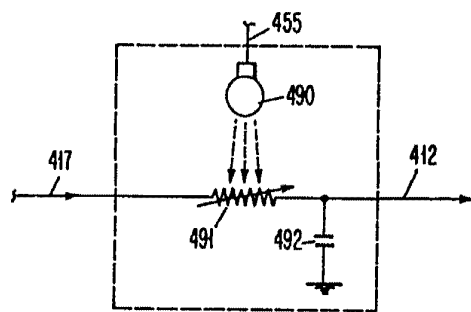


FIG. 4B

Handwritten signature or initials